

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pendingin (Refrigerasi)

Teknik pendinginan (refrigeration) adalah studi tentang sistem pendingin dengan memindahkan panas dari tempat bersuhu rendah ke tempat bersuhu lebih tinggi. Pendinginan yang dilakukan meliputi:

- a) Agar temperatur dari suatu zat turun atau berkurang.
- b) fase berubah dari suatu zat menjadi keadaan lain, misalnya:

Es→Air→Uap

- c) Menjaga suatu ruangan atau zat dalam suatu keadaan tertentu. Pngkondisian udara (*refrigration*) bisa dimanfaatkan dalam banyak bidang, seperti:
  - 1) Perusahaan : pendinginan gudang, pembuatan balok Es di industri.
  - 2) Rumah (domestic): Kondisi udara (Ac), kamar, kulkas, rang tamu .
  - 3) Pengkondisian Udara : Ruko, Pelabuhan, Penginapan (Faozan, 2017).

## 2.2 Macam – macam Evaporator

Evaporasi/Evaporator adalah cara/alat menukar kalor yang merupakan peranan penting di dalam siklus refrigerasi, dengan cara mendinginkan daerah sekitarnya. ISSN 2089 – 7235 dalam evaporator terjadi perubahan penguapan dimana refrigeran mengalami perubahan dari fase cairan menjadi fase penguapan. Perubahan ini terjadi bersamaan dengan terserapnya panas di udara serta objek yang dinginkan di sekitar evaporator, agar suhu udara dan objek yang didinginkan menjadi turun.

- a) Jenis evaporator ekspansi Setengah basah
- b) Jenis evaporator ekspansi kering
- c) Jenis evaporator ekspansi Basah (Faozan, 2017)

## 2.3 Siklus Refrigerasi

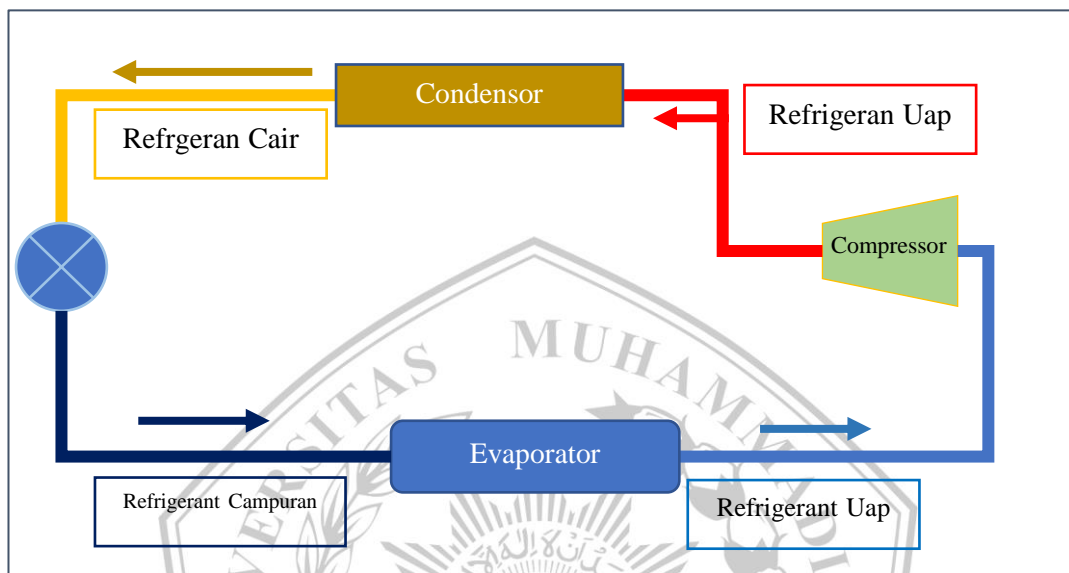
Siklus refrigerasi, dalam refrigeran menjalankan fungsi sebagai fluida kerja yang berubah dari fase cair menjadi uap, lalu dari fase uap menjadi fase cair, sehingga disebut suatu siklus aliran tertutup, kecuali siklus refrigerasi yang menggunakan udara sebagai fluidanya, dimana fase refrigeran tetap dalam bentuk fase gas.

Dalam proses yang dialami refrigeran, siklus dibedakan:

- 1) Siklus refrigerasi kompresi uap
- 2) Siklus refrigerasi pancaran uap
- 3) Siklus refrigerasi udara
- 4) Siklus refrigerasi penyerapan

Sistem siklus refrigerasi kompresi uap kompressor mengkompresi dalam fase uap sehingga suhu dan tekanan naik, sehingga refrigeran mudah terkondensasi di dalam kondensor. Lalu tekanan dan

temperatur di turunkan oleh katup ekspansi agar cairan tersebut dapat menguap kembali (evaporasi), sambil menyerap panas dari objek yang diinginkan, siklus refrigeran dapat dilihat dalam gambar 2.1 dibawah.



Gambar 2.1 Siklus *refrigerant*

Ketika menjalankan fungsinya *refrigerant* mengalami proses:

- a) Evaporasi (penguapan) di evaporator
- b) Kompresi (pemompaan) di kompressor
- c) Kondensasi (pengembunan) di kondensor
- d) Ekspansi (penurunan tekanan) di katup ekspansi

## 2.4 Jenis - Jenis Refrigeran

Pengkondisian udara (refrigerasi) adalah proses pemindahan energi panas yang berada di dalam suatu ruang. Pemindahan energi panas tersebut dibutuhkan Untuk keperluan ruangan, dalam suatu fluida penukar kalor disebut Refrigeran.

Syarat yang harus dimiliki oleh suatu refrigeran antara lain adalah (Abdillah, 2013)

:

- Kestabilan tekanan
- Mudah mengembun pada suhu ruang
- Panas laten yang tinggi
- Tidak korosif
- Mudah bercampur dengan oli pelumas
- Titik penguapan yang rendah
- Tidak beracun
- Tidak mudah terbakar

CFC (Cloro fluoro Carbon) adalah Jenis refrigeran yang paling terkenal , akibat yang ditimbulkan oleh jenis ini adalah merusak lapisan ozon dan berkontribusi tinggi terhadap efek pemanasan global. Sehingga jenis ini dihapuskan dan sebagai gantinya adalah HCFC-22, HFC-134a dan HC-600a.

Menurut sifat penyerapan dan ekspansi panas, maka refrigeran dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi yaitu :

Kelas 1 :

Adalah refrigeran yang dapat memberikan efek pendinginan dengan menyerap panas laten dari substansi yang didinginkan. Yang termasuk dalam klasifikasi ini adalah Sulfur Dioksida, Metil Klorida, Ethil Klorida, Amonia, Carbon Dioksida, Isobutan, CFC-11, CFC-12, CFC-13, CFC-21

Kelas 2 :

Adalah refrigeran yang hanya dapat menyerap panas sensibel dari substansi yang didinginkanya. Yang termasuk dalam klasifikasi ini adalah Udara, Cairan kalsium klorida, Cairan sodium klorida dan Alkohol.

Jenis-jenis refriferan (bahan pendingin) adalah sebagai berikut :

1. Refrigeran-11 (R-11)

Merupakan CCL<sub>3</sub> F (Trichloro Monofluoro Methane) yang mempunyai karakteristik antara lain sebagai berikut :

- Sangat stabil, tidak dapat beracun, tidak dapat korosif, tidak dapat terbakar dan tak mudah meledak,
- Titik didihnya adalah 23,8°C atau 74,9° F pada 1 atmosfer
- Tekanan penguapannya adalah 24 inch Hg vakum pada (-15)°C
- Tekanan kondensasinya 3,5 psig pada 30°C. Kalor laten uap 73, 8 Btu/lb pada titik didih
- Dapat melarutkan karet alam, tetapi tidak dapat bereaksi dengan karet sintesis.
- Merupakan isolator yang baik karena mempunyai kekuatan dielektrik yang besar. Maka R - 11 sering digunakan untuk membersihkan bagian dalam dan sistem lemari es atau air conditioning unit yang motornya terbakar.

2. Refrigerant -12 (R-12)

Merupakan CCL<sub>2</sub> F<sub>2</sub> (Dichloro Difluoro Methane) yang sangat populer dan banyak dipakai untuk mesin pendingin domestik. Karakteristiknya antara lain sebagai berikut :

- Sangat aman karena tidak dapat korosif, tidak dapat beracun, tidak dapat terbakar atau meledak dalam bentuk cair maupun dalam bentuk gas.
- Tekanan kondensasi 93,3 psig pada 30°C.
- Titik didih - 29,8°C pada tekanan 1 atmosfer
- Tekanan penguapan 11,8 psig pada 15°C
- Tidak dapat melarutkan air, tetapi dapat melarutkan hydrocarbon, alkohol, Tidak berwarna, bahkan transparan dan tidak dapat berbau.
- Merusak karet alam tetapi tidak dapat bereaksi dengan karet sintesis.
- Stabil pada suhu kerja rendah maupun pada suhu kerja tinggi.
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas dalam semua keadaan.
- ether, ester, dan ketone.
- Jika bercampur dengan air pada suhu tinggi dapat membentuk asam halogen sehingga akan menjadi korosif.
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar.

Pemakaian yang sangat luas adalah untuk lemari es, freezer, ice cream cabinet, water cooler, refrigerasi dan air conditioning yang besar. R - 12 mempunyai beberapa keunggulan dibanding dengan R -22 yaitu:

- Tekanan kerja dan suhu kerja lebih rendah
- Harga lebih murah.
- Lebih bercampur dengan minyak pelumas dalam semua keadaan

### 3. Refrigerant -13 (R-13)

Merupakan CCL F3 (Chloro Friflaoro Methane) yang dapat dipakai untuk menggantikan R - 22 atau R - 500 pada pemakaian suhu yang rendah dan mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Tidak dapat bercampur dengan minyak pelumas
- Tekanan penguapan 117,1 psi pada - 15°C.
- Tekanan kondensasi 546,6 psig pada 28,9°C
- Suhu kritis 28,8°C pada 1 atm
- Mempunyai titik - 18,4°F pada 1 atmosfer
- Kalor laten uap 63,85 Btu/lb pada titik didih

#### 4. Refrigeran -22 (R-22)

Merupakan CHCl F2 (Chloro DiFluoro Methane) yang sangat populer, karena banyak dipakai untuk air conditioning ukuran kecil dan sedang. Adapun sifat-sifat utama dari R- 22 adalah :

- Tidak beracun, tidak berbau dan mudah dideteksi.
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas pada tekanan rendah terutama di evaporator.
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar
- Tekanan kondensasi pada 30°C adalah 158,2 psig.
- Titik didih pada tekanan atmosfer -40, 8°C
- Tekanan penguapan pada - 15°C ada 28,3 psi
- Kalor laten uap 100, 6 Btu/lb pada titik didih
- Tidak korosif terhadap logam seperti besi, tembaga, aluminium, kuningan, baja dan lain-lain.

- Mempunyai kemampuan menyerap air sebesar tiga kali lebih besar dari R -12.

#### 5. Refrigeran-40 (R-40)

Merupakan  $\text{CH}_3\text{Cl}$  (Methyl Chlorida) yang mempunyai sifat-sifat (karakteristik) sebagai berikut :

- Kalor laten uap 180,6 Btu/lb pada titik didih
- Tekanan kondensor pada  $30^\circ\text{C}$  adalah 80 psig
- Titik didih pada tekanan 1 atmosfer -  $23,7^\circ\text{C}$
- Tekanan penguapan pada -  $15^\circ\text{C}$  adalah 6,5 psig
- Korosif terhadap logam ferro dan non ferro terutama untuk aluminium, seng dan Magnesium.
- Tidak beracun
- Dapat terbakar dan meledak bila bercampur dengan udara pada konsentrasi 8-17 % dan volume.
- Dapat memabukkan orang pada konsentrasi (kadar) yang tinggi.
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas.
- Korosif terhadap karet alam dan sintesis.
- Dapat membentuk asam hydroclorik yang lemah bila bercampur dengan air.

Oleh karena R - 40 banyak mengandung kelemahan, maka refrigeran ini sudah jarang dipakai dan banyak diganti dengan bahan pendingin golongan fluokarbon.

#### 6. Refrigeran-113 (R-113)



Merupakan  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  (Trichloro Trifluoro Ethane) yang mempunyai sifat-sifat (karakteristik) sebagai berikut :

- Mempunyai struktur yang sangat stabil
- Kalor laten uap 63,12 Btu/lb pada titik didih
- Tekanan penguapan pada  $-15^\circ\text{C}$  adalah 27,9 inch Hg
- Titik didih pada tekanan 1 atmosfer  $47,6^\circ\text{C}$
- Tekanan kondensasi pada  $30^\circ\text{C}$  adalah 13,9 inch Hg
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar

#### 7. Refrigeran-114 (R-114)

Merupakan  $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$  (Dichloro Tetrafluora Ethane). Bila R - 114 dicampur dengan R - 12 dapat digunakan dalam bidang kosmetik tanpa memberi efek sampingan pada kulit. Sifat-sifat da R - 114 adalah sebagai berikut :

- Strukturnya sangat stabil
- Titik didih pada tekanan 1 atmosfer  $3,8^\circ\text{C}$
- Tidak korosif walaupun berhubungan dengan air
- Tekanan pengembunan pada  $-15^\circ\text{C}$  adalah 16,2 inch Hg
- Tidak berwarna
- Tekanan pengembunan pada  $30^\circ\text{C}$  adalah 21,6 psig
- Kalor laten uap 59 Btu/lb pada titik didih
- Tidak dapat meledak
- Tidak berbau
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor pada tekanan tinggi, tetapi tidak bercampur pada tekanan rendah terutama di evaporator

#### 8. Refrigeran-134a (R-134a)

Merupakan  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$  (Ethene Tetrafluoro) yang mempunyai sifat-sifat (karakteristik) sebagai berikut :

- Tidak dapat terbakar dan tak dapat meledak
- Titik didih pada tekanan 1 atmosfer -  $26,1^\circ\text{C}$
- Tidak korosif
- Suhu kritis  $101^\circ\text{C}$
- Tidak berbau
- Tekanan kritis 4060 Kpa
- Tekanan penguapan pada  $25^\circ\text{C}$  adalah 668 Kpa.
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas.
- Struktur kimianya stabil
- Tidak dapat merusak ozon
- Tidak beracun

#### 9. Refrigeran-500 (R-500)

Merupakan  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  dan  $\text{CH}_3\text{CHF}_2$  (Azeatrop). Dilihat dari rumus kimianya bahwa R - 500 adalah refrigeran campuran, yaitu campuran dari 73,8% dari R - 12 dan 26,2% dari R - 152A. Sifat-sifat dari R - 500 adalah sebagai berikut :

- Tidak beracun
- Mempunyai kemampuan daya serap air yang besar
- Titik didih pada 1 atmosfer -  $33,5^\circ\text{C}$
- Tekanan penguapan pada  $-15^\circ\text{C}$  adalah 16,4 psig

- Susunan strukturnya stabil
- Dapat bercampur dengan minyak kompresor dengan baik
- Tekanan pengembunan pada  $30^{\circ}\text{C}$  adalah 112,9 psig
- Kalor laten uap 88,5 Btu/lb pada titik didih
- Tidak dapat terbakar

#### 10. Refrigeran-502 (R-502)

Merupakan  $\text{CHClF}_2$  dan  $\text{CClF}_2\text{CF}_3$ , kalau dilihat dari rumus kimianya bahwa R - 502 adalah refrigeran campuran, yaitu campuran dari 51,2% R - 115 dari 48,8% R - 22. Sifat-sifat R - 502 adalah sebagai berikut :

- Tekanan penguapan pada  $-15^{\circ}\text{C}$  adalah 35,9 psig
- Titik didih pada 1 atmosfer -  $45,4^{\circ}\text{C}$
- Tidak korosif terhadap logam
- Tekanan kondensasi pada  $-30^{\circ}\text{C}$  adalah 176,6 psig
- Kalor laten uap 76.46 Btu/lb pada titik didih
- Tidak dapat terbakar
- Tidak beracun
- Tidak berwarna
- Pada temperatur  $18^{\circ}\text{C}$  dapat menyerap air 15 kali lebih banyak dari R-12 yaitu 12 ppm (part permillion) dan cukup berat.

#### 11. Refrigeran-503 (R-503)

Merupakan  $\text{CHF}_3$  dan  $\text{CClF}_3$ . Dari rumus tersebut terlihat bahwa R - 503 adalah refrigeran campuran, yaitu campuran dan 59,9% R-13 dan 40,1% R -23. Sifat-sifat dari R - 503 ialah :

- Pada suhu rendah menyerap air

- Titik didih pada 1 atmosfer - 88,7°C
- Pada suhu rendah tidak dapat bercampur dengan bahan pelumas
- Tekanan penguapan pada - 15°C adalah 249,3 psig
- Tidak mudah terbakar
- Suhu kritis 19,5°C dan tekanan kritis 592,3 psig
- Kalor laten uap 77,15 Btu/lb pada titik didih

#### 12. Refrigeran-504 (R-504)

Merupakan CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> dan CF<sub>3</sub>CClF<sub>2</sub>. Dilihat dari rumus kimianya, R - 504 juga merupakan refrigeran campuran, yaitu 48,3 persen R - 32 dan 51,7 persen R - 115. Sifat-sifat dari R - 504 antara lain:

- Pada tekanan rendah sulit bercampur dengan pelumas
- Tekanan kritis 690 psig
- Titik didih pada 1 atmosfer -57°C
- Tekanan penguapan pada - 15°C adalah 85,93 psig

## 2.5 Termodinamika

Rumus-rumus perhitungan :

#### 1. Dampak Refrigerasi

Kalor yang diserap oleh refrigeran pada evaporator

$$Q_{in} = h_2 - h_4 \text{ [Kj/Kg]}$$

$h_1$  = entalpi refrigerant sesudah kondensor

$h_2$  = entalpi refrigerant sebelum kondensor

#### 2. Kalor Dilepas Kondensor

$$Q_{cond} = h_2 - h_3 \text{ [Kj/Kg]}$$

$h_3 = h_4$  = entalpi refrigerant sesudah kondensor [Kj/Kg]

$h_2$  = entalpi refrigerant sebelum kondensor [Kj/Kg]

### 3. Kerja Kompresi

$$W_{comp} = h_1 - h_2 \text{ [Kj/Kg]}$$

### 4. Laju Massa Pendaaran Refrigerant

$$M_r = \frac{Q}{h_1 - h_4} [\text{K}]$$

### 5. Daya Kompresor

$$N_{comp} = M_r(h_1 - h_2) [\text{Kg/s}]$$

### 6. Volume Aliran Refrigerant

$$V = M_r \cdot v \text{ [m}^3/\text{s]}$$

## 2.6 Psikometri

Psikometrik adalah salah satu sub bidang engineering yang khusus mempelajari sifat-sifat thermofisik campuran udara dan uap air untuk selanjutnya akan disebut “udara”. Pada psikometrik udara “hanya dibedakan atas udara kering dan uap air. Meskipun udara kering masih dapat dibedakan lagi menjadi komponen gas yang terdiri dari Nitrogen, Oksigen, Karbon dioksida dan yang lainnya, tetapi pada psikometrik semuanya diperlakukan sebagai satu unit udarah kering, Ada dua cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan sifat-sifat thermodinamik udara, yaitu dengan menggunakan persamaan-persamaan dan dengan menggunakan grafik yang menggambarkan sifat-sifat thermodinamik udara, yang biasa disebut psysikometric chart .

Dengan menggunakan grafik ini, proses-proses seperti pendinginan udara, dehumidification, dan perlakuan udara kering dapat dijelaskan dengan lebih mudah. Parameter-parameter dan istilah yang digunakan untuk menggambarkan sifat-sifat termodinamik udara antara lain : Humidity ratio, relatif humidity, dry-bulb dan wet-bulb, temperatur, dew-point temperatur, sensible end latent heat, density, moist volume, dan entalpi. Sebelum melakukan perhitungan dan penentuan pada grafik psikometrik beberapa parameter atau sifat udara yang harus diketahui.

Rumus Diagram Psikometri :

1. Tekanan Uap Air di Udara

$$P_h = P_{wb} - \frac{(P_{bar} - P_{wb}) \cdot (t_{db} - t_{wb})}{2830 - 1,44 \cdot t_{wb}} \text{ [KPa]}$$

$P_{wb}$  = tekanan pada temperature bola basah [KPa]

$P_{bar}$  = tekanan barometer [KPa]

$t_{db}$  = temperatur bola kering [°C]

$t_{wb}$  = temperature bola basah [°C]

2. Kelembaban Relatif

$$H_r = \frac{P_h}{P_{db}} \cdot 100\%$$

$P_{db}$  = tekanan pada temperature bola basah [KPa]

3. Derajat Kejenuhan

$$\phi = \frac{P_{bar} - P_{db}}{P_{bar} - P_h} \cdot H_r$$

4. Ratio Kelembaban Aktual

$$\mu = \frac{0,6220 P_h}{P_{bar} - P_h} \text{ [Kj/Kg]}$$

## 5. Entalpi Udara

$$h_{ud} = h_{dkering} + h_{uap} [Kj/Kg]$$

$$h_{ud} = C_p \cdot t_{db} + \mu \cdot (1061 + 0,444 t_{db}) [Kj/Kg]$$

$C_p$  = Panas Jenis Udara

